

# UN SISTEMA EXPERTO PARA LA EVALUACION DEL NIVEL DE CALIDAD EN ESTRUCTURAS DE EDIFICACION.

CERROLAZA, M.

Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME)  
Universidad Central de Venezuela, Apart. Postal 50361  
Caracas 1050-A, Venezuela.

GOMEZ.S., B. y ALARCON, E.

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales  
Universidad Politécnica de Madrid  
C/ José Gutiérrez Abascal, 2, Madrid 28006, España.

## RESUMEN

Las tendencias actuales dentro de la Inteligencia Artificial y los Sistemas Expertos se mueven hacia la excitante posibilidad de reproducir y simular el conocimiento y comportamiento humanos dentro de Bases de Conocimiento, acopladas con códigos computacionales parcialmente inteligentes.

Así, este trabajo se ocupa de la predicción del nivel de calidad en estructuras mediante un sistema experto denominado QL-CONST1, capaz de "razonar" sobre este campo de la ingeniería estructural. La Base de Conocimientos ha sido desarrollada en términos probabilísticos de hipótesis y evidencias, con la invaluable ayuda de expertos humanos en ingeniería estructural. Se incluyen algunos ejemplos ilustrativos para validar el comportamiento del sistema experto.

## PALABRAS CLAVE

Sistemas Expertos, Control de calidad, Ingeniería del Conocimiento, Inferencia bayesiana.

1. INTRODUCCION

En años recientes, ha sido dedicado un gran esfuerzo al desarrollo y comercialización de los Sistemas Expertos en un gran número de disciplinas del conocimiento humano. Así pues, es posible predecir algunas consecuencias importantes (Waterman, - 1986): un incremento en el desarrollo de los S.E. para reproducir y aplicar el conocimiento humano y, en segundo lugar, ... "como un efecto colateral, la ingeniería del conocimiento acelerará el desarrollo, clarificación y expansión del conocimiento humano en sí".

La figura 1.1 ilustra un S.E. típico con sus módulos básicos, mientras que la tabla 1.1 (Hayes-Roth et. al, 1983) recoge un resumen de los tipos de problemas susceptibles de ser resueltos mediante la tecnología de ingeniería del conocimiento.

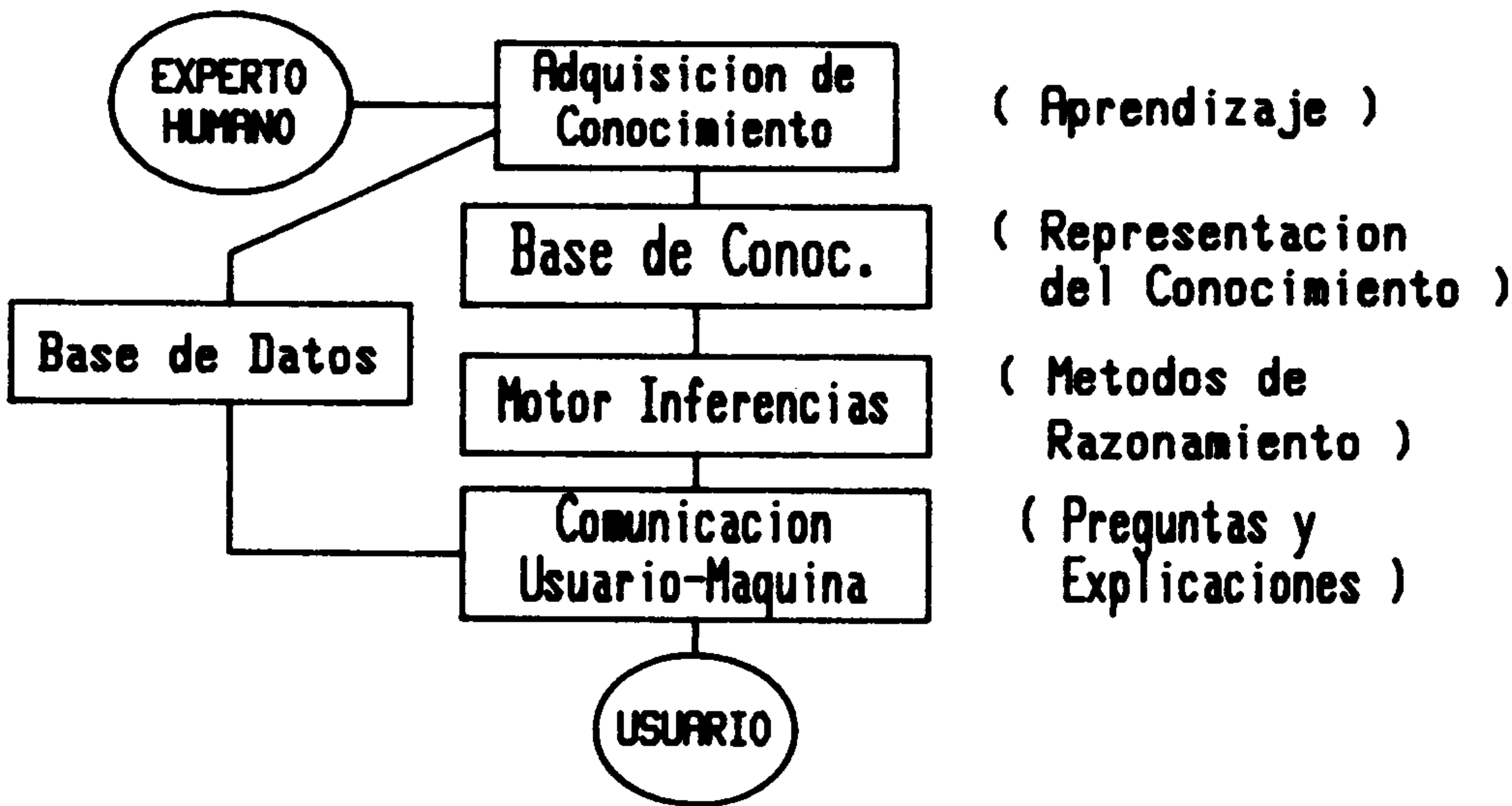


Figura 1.1  
Módulos básicos de un sistema experto

En varias disciplinas del conocimiento humano, tales como Medicina, Derecho, Matemáticas, Gestión, etc. ha sido desarrollado un número considerable de S.E. (Waterman, 1986; Hayes-Roth et. al, 1983; Barr et. al, 1982; Martin et. al, 1971; Buchanan et. al, 1984).

Categoría	Descripción del problema
INTERPRETACION	Inferir situaciones a partir de datos <u>ex</u> <u>perimentales</u> .
PREDICCION	Deducir consecuencias probables de situa <u>ci</u> <u>ones</u> dadas.
DIAGNOSTICO	Detectar funcionamientos erróneos de sis <u>te</u> <u>mas</u> a través de observaciones.
DISEÑO	Configuración de objetos bajo restricci <u>o</u> <u>nes</u> .
PLANIFICACION	Diseñar acciones a tomar en un proceso.
DEPURACION	Proponer soluciones a funcionamientos - erróneos.
REPARACION	Ejecutar un plan para aplicar una solu <u>ci</u> <u>ón</u> prescrita.
INSTRUCCION	Diagnosticar, depurar y corregir el com <u>po</u> <u>rtamiento</u> del estudiante.
CONTROL	Interpretar, predecir, reparar y contro <u>l</u> <u>ar</u> el comportamiento de un sistema dado.

Tabla 1.1

### Areas de aplicabilidad de la ingeniería del conocimiento

Sin embargo, en ingeniería estructural, el panorama no es tan amplio. Describiremos brevemente a continuación algunos S.E existentes en este campo.

SPERIL II (Osawa et. al, 1984), evalúa el nivel general de daños de estructuras en servicio, analizando datos provenien  
tes de instrumentación (desplazamientos, aceleraciones) como -  
consecuencia de excitaciones sísmicas. El sistema posee una ba-  
se de conocimientos (BC) con reglas de producción basadas en lógi  
ca de predicados y factores de certidumbre. Fué escrito en un



dialecto de Prolog.

SACON (Bennett et. al, 1978), sugiere vías para el análisis de problemas en ingeniería estructural y funciona acoplado con un código de elementos finitos (MARC). Es un sistema con "encadenamiento hacia atrás" de las reglas de producción.

REACTOR (Nelson, 1982) diagnostica y propone soluciones en accidentes nucleares, utilizando su conocimiento acerca de la respuesta esperada del reactor en la presencia de accidentes conocidos.

Este sistema fue escrito en LISP y utiliza "encadenamiento hacia delante y hacia atrás".

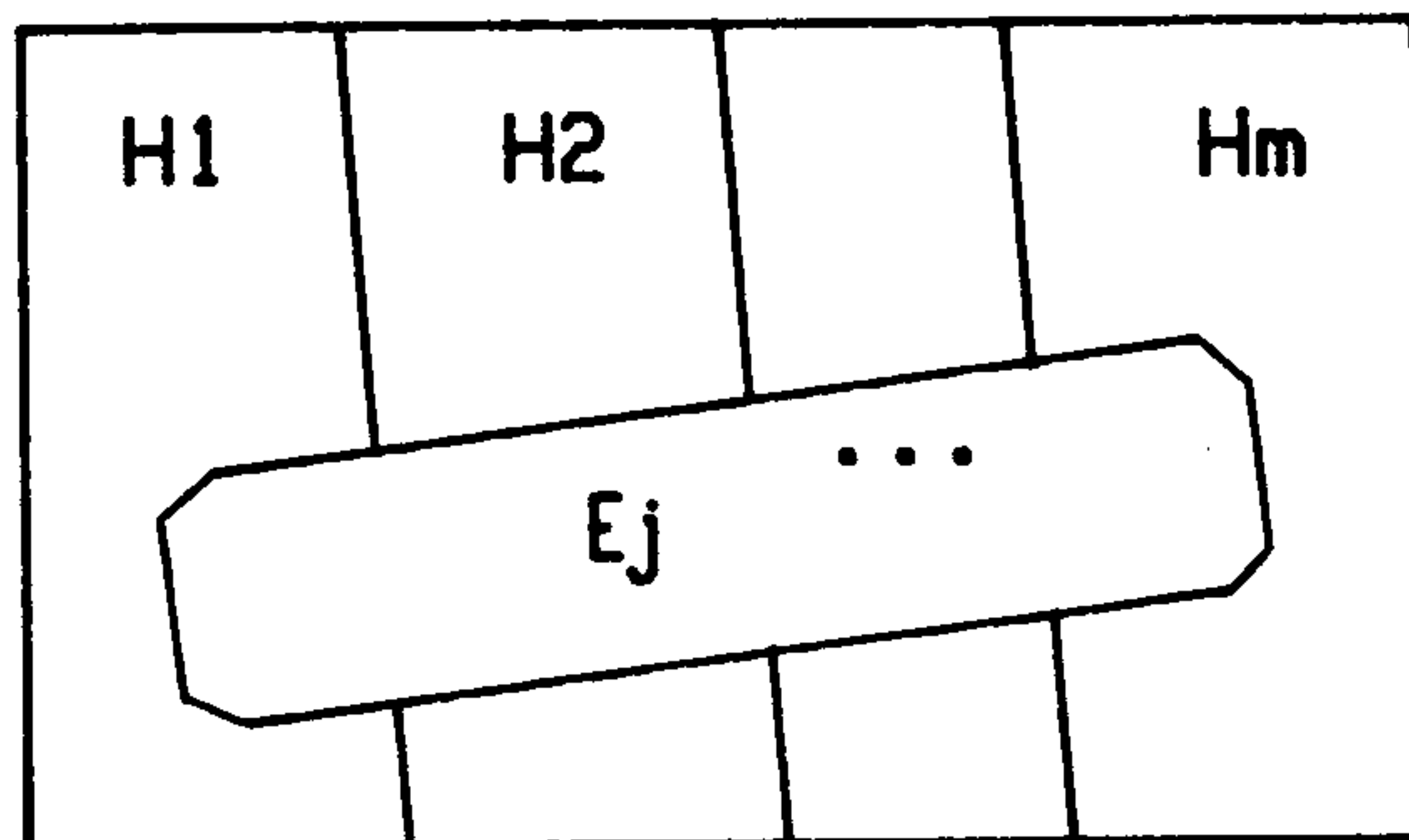
PROSPECTOR (Gaschnig, 1982) ayuda a los geólogos en la búsqueda de depósitos minerales, prediciendo la existencia de sustratos de cobre, molibdeno, etc. Es un sistema basado en reglas y factores de certidumbre. A través de inferencia bayesiana, determina las probabilidades asociadas con un determinado suceso. Fue escrito en Interlisp y se encuentra en etapa de producción.

El presente trabajo describe la generación de una BC para la predicción del nivel de calidad en estructuras existentes y su acoplamiento con un S.E. de inferencia bayesiana, denominado QL-CONST1.

## 2. EL METODO BAYESIANO

El bien conocido teorema de Bayes tiene singular importancia en todos aquellos procesos que involucran conocimiento probabilístico. En ingeniería estructural, la información que debe ser incluida en el proceso de inferencia proviene de varias fuentes: experiencia del ingeniero, inspección visual, ensayos experimentales, etc, información ésta que debe ser manipulada convenientemente para producir resultados confiables.

En lo que sigue, revisaremos brevemente las ideas básicas del teorema de Bayes (Ang et. al, 1975). Sea  $U$  el universo de sucesos  $H_i$  (mutuamente exclusivos) y  $E_j$  otro evento perteneciente a  $U$ , como muestra la figura 2.1.



La probabilidad condicional de la presencia de  $E_j$  supuesto - que  $H_i$  ha ocurrido es:

figura 2.1

Universo  $U$  de hipótesis  $H_i$

$$P(H_i : E_j) = P(H_i \& E_j) / P(E_j) \quad (2.1)$$

donde

$P(H_i \& E_j)$  = probabilidad de la ocurrencia de ambos eventos simultáneamente.

de (2.1) se puede escribir

$$P(H_i : E_j) P(E_j) = P(E_j : H_i) P(H_i) \quad (2.2)$$

ahora, el teorema de Bayes puede escribirse como:

$$P(H_i : E_j) = P(E_j : H_i) \cdot P(H_i) / P(E_j) \quad (2.3)$$

En nuestro caso,  $H_i$  debe ser interpretada como una "hipótesis", mientras que  $E_j$  es una "evidencia". Así

$P(H_i)$  = probabilidad "a priori" de la ocurrencia de la hipótesis  $H_i$ .

$P(H_i : E_j)$  = probabilidad "a posteriori" de la ocurrencia de  $H_i$ , actualizada en presencia de  $E_j$ .

$P(E_j : H_i)$  = probabilidad condicional de la presencia de  $E_j$ , dado que  $H_i$  ha ocurrido.

### 3. BASE DE CONOCIMIENTOS EN TERMINOS PROBABILISTICOS

La BC es construída a partir de probabilidades "a priori" y condicionales con la asistencia de expertos humanos en seguridad de estructuras e ingeniería estructural.

En nuestro caso, evaluaremos el término  $P(E_j)$  de la ecuación (2.3) a través de una fórmula simplificada como

$$P(E_j) = P(E_j : H_i)P(H_i) + P(E_j : \bar{H}_i)P(\bar{H}_i) \quad (3.1)$$

donde permanecen válidas las mismas definiciones dadas en (2.3) más:

$P(\bar{H}_i) = 1 - P(H_i)$  = probabilidad "a priori" de la no ocurrencia de  $H_i$ .

$P(E_j : \bar{H}_i)$  = probabilidad de la presencia de  $E_j$ , dado que  $H_i$  no ha ocurrido.

La razón de esto se debe a que (Forsyth, 1984) si la BC no contiene todas las hipótesis  $H_i$  del universo  $U$ , el cálculo de  $P(E_j)$ , efectuado mediante la clásica fórmula del Teorema de la Probabilidad Total (Ang et. al, 1975), podría proporcionar valores erróneos y conducir a predicciones no fiables. Otra ventaja de este proceder es la reducción en tiempo de computador.

Sustituyendo (3.1) en (2.3) el teorema de Bayes puede ser reescrito como

$$P(H_i : E_j) = \frac{P(E_j : H_i) \cdot P(H_i)}{P(E_j : H_i) \cdot P(H_i) + P(E_j : \bar{H}_i) \cdot P(\bar{H}_i)} \quad (3.2)$$

$$P(H_i : \bar{E}_j) = \frac{P(\bar{E}_j : H_i) \cdot P(H_i)}{P(\bar{E}_j : H_i) \cdot P(H_i) + P(\bar{E}_j : \bar{H}_i) \cdot P(\bar{H}_i)} \quad (3.3)$$

donde (3.3) es la complementaria de (3.2) para el caso en que  $E_j$  no ocurra. (i.e.,  $\bar{E}_j$ ).



Este método asume que las  $E_j$  son independientes pero, en nuestro caso, podría haber un cierto grado de dependencia. Sin embargo, estamos interesados en los valores relativos de las - probabilidades y no en sus valores "exactos" al final del proce - so de inferencia. El grado de dependencia en  $E_j$  (en este caso - es pequeño) afectará toda la información presente en la BC y - producirá el mismo nivel de "error" sobre las probabilidades fi - nales de todas las hipótesis consideradas. Por consiguiente, - las conclusiones y predicciones finales serán muy razonables.

En QL-CONST1 han sido incluídas, hasta la fecha, tres hipó - tesis básicas: Niveles de calidad BUENO, REGULAR y POBRE. Las evidencias han sido clasificadas en varios grupos, dependiendo de su procedencia, los cuales son:

- \* Inspección Visual
- \* Control de los materiales
- \* Planos y Proyectos, etc.

Las hipótesis y evidencias han sido codificadas en lengua - je natural para facilitar la comprensión de las mismas en ta - reas de redimensionado del sistema. Cada hipótesis  $H_i$  tiene un considerable número de evidencias  $E_j$  asociadas, con sus respec - tivas probabilidades  $P(E_j : H_i)$  y  $P(E_j : \bar{H}_i)$ .

Los expertos humanos pueden proporcionar, con relativa fa - cilidad y claridad, los valores de  $P(H_i)$  y  $P(E_j : H_i)$ , mientras que los valores de  $P(E_j : \bar{H}_i)$  resultan mucho más dificultosos de extraer que los anteriores.

Sin embargo, esto puede ser evi - tado según se describe a continuación. Sea  $E_j$  la nueva evidencia introducida y  $H_i$  las hipótesis en consideración. El universo  $U$  de las hipótesis está mostrado en la figura 3.1, donde se definen:

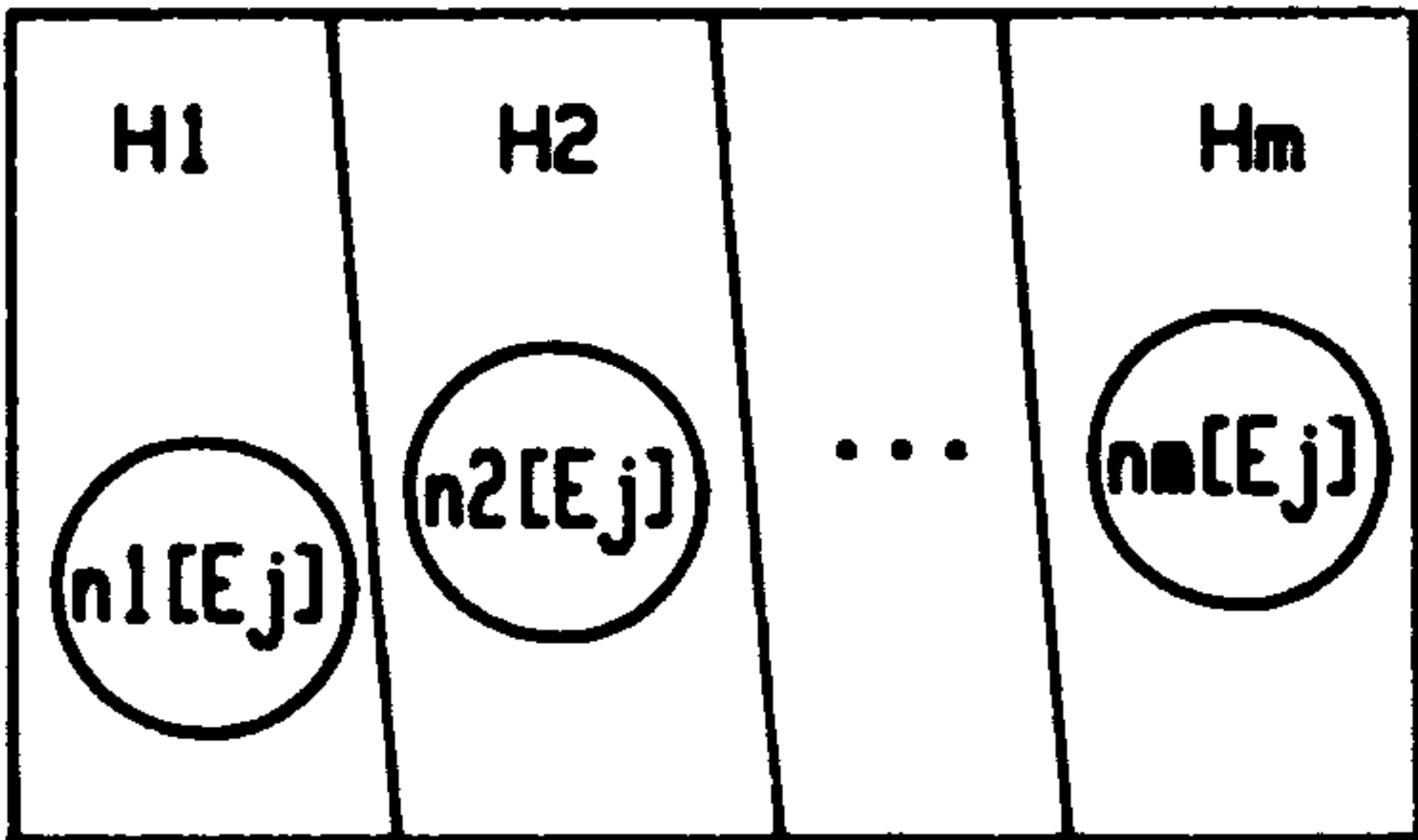


figura 3.1  
 Descripciones gráficas  
 en cálculo de  $P(E_j : \bar{H}_i)$

$$\begin{aligned}
n_i[E_j] &= \text{número de especímenes en } H_i \text{ que presentan } E_j \\
n_i &= \text{número total de especímenes en } H_i \\
N[E_j] &= \text{número total de especímenes en } U \text{ que pre-} \quad (3.4) \\
&\quad \text{sentan } E_j. \\
\bar{N}[E_j] &= \text{número total de especímenes en } U \text{ que no pre-} \\
&\quad \text{sentan } E_j.
\end{aligned}$$

y

$$N = N[E_j] + \bar{N}[E_j] = \text{número total de especímenes en } U \quad (3.5)$$

La probabilidad de la presencia de  $E_j$  en especímenes pertenecientes a  $H_i$  puede ser escrita como:

$$P(E_j : H_i) = n_i[E_j]/n_i ; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.6)$$

mientras que la probabilidad "a priori" de  $H_i$  será

$$P(H_i) = n_i/N ; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.7)$$

Recordando que las  $H_i$  son exclusivas y en vista de (3.4) podemos escribir que:

$$P(E_j : \bar{H}_i) = \frac{\sum_{k \neq i}^m n_k[E_j]}{\sum_{k \neq i}^m n_k} \quad (3.8)$$

Sustituyendo (3.5) en (3.8):

$$P(E_j : \bar{H}_i) = \frac{\sum_{k \neq i}^m n_k[E_j]}{N - n_i} \quad (3.9)$$

Sustituyendo (3.6) y (3.7) en (3.8) se obtiene:

$$P(E_j : \bar{H}_i) = N \cdot \frac{\sum_{k \neq i}^m P(H_k) \cdot P(E_j : H_k)}{N - n_i} \quad (3.10)$$

y ahora, dividiendo (3.10) por  $N$  y recordando que  $1 - P(H_i) = P(\bar{H}_i)$  se obtiene finalmente:

$$P(E_j : \bar{H}_i) = 1/P(\bar{H}_i) \cdot \sum_{k \neq i}^m P(H_k) \cdot P(E_j : H_k) \quad (3.11)$$



#### 4. BREVE DESCRIPCION DE "QL-CONST1"

"QL-CONST1" realiza su proceso inferencial mediante la teoría de Bayes. Está escrito en PASCAL y operativo en un microcomputador HP-9836.

El objetivo final es determinar la posibilidad de la ocurrencia de la hipótesis  $H_i$  más probable, incluyendo y combinando apropiadamente todas las evidencias  $E_j$  requeridas para ello. El sistema funciona efectuando preguntas al usuario de manera - de incorporar información "a posteriori" en el proceso de razonamiento. Las probabilidades  $P(H_i)$  son continuamente revisadas y actualizadas debido a la incorporación de nuevas evidencias (p. ej: presencia o no de grietas de corte) hasta que el sistema alcanza la hipótesis más probable y la anuncia.

La secuencia utilizada por el sistema para requerir información es algo más delicada. Previamente a cualquier pregunta, el sistema calcula un Valor de Regla VR (Naylor, 1984), el cual es un parámetro que determina cuál evidencia produce el mayor - "desplazamiento" en los valores probabilísticos de las hipótesis y, en consecuencia, la próxima evidencia a ser preguntada. El VR es meramente un parámetro dependiente de los valores de  $P(E_j : H_i)$  y  $P(E_j : \bar{H}_i)$ . Como puede observarse, el sistema modifica continuamente su "juicio" acerca de cuál es la evidencia más relevante en un dado instante del proceso de razonamiento, en función de las respuestas del usuario, haciéndolo parcialmente "inteligente". Este método se denomina "encadenamiento lateral" (Naylor, 1984) debido a que es básicamente función de - las evidencias en lugar de las hipótesis.

La forma de cómo el usuario puede responder a las preguntas del sistema es otro tópico de interés.

En Lógica Clásica los sucesos ocurren o no ocurren, lo que implica que las respuestas debe ser Cierto (1) o Falso (0). Sin embargo, en procesos probabilísticos, incluyendo aquellos gobernados

nados por la Teoría de Lógica Difusa (Zadeh, 1965, 1973), el conocimiento tiene asociado un cierto grado de incertidumbre (Hayes-Roth et. al, 1983; Nilsson, 1980; Rich, 1983). Así pues, - cuando el sistema requiere información acerca de una determinada evidencia, digamos ¿se proporcionó una efectiva protección - de los materiales contra la lluvia?, es necesario permitir al - usuario responder con frases como: "No lo sé" (incertidumbre ab soluta) o bien, "Sí, se dió alguna protección". En consecuencia, el sistema acepta la respuesta del usuario en forma de escala - numérica graduada con valores comprendidos entre un entero nega - tivo y otro positivo, incluyendo el valor "0" que representa la incertidumbre absoluta. La interpolación adecuada de las fórmulas (3.2) y (3.3) incorpora al proceso la incertidumbre del - usuario. Otras técnicas más avanzadas para considerar incertidumbre están fuera del alcance de este trabajo. El lector interesado puede referirse a Hayes-Roth et. al (1983), Barr et. al, (1982), Duda et. al (1976), Charniak et. al (1985).

## 5. VALIDACION DEL SISTEMA EXPERTO

Una gran variedad de aspectos surge cuando se evalúa el - comportamiento de un sistema experto en fase de prototipo. En nuestro caso y debido a la simplicidad del proceso de razonamiento descrito, sólo mencionaremos algunos de los interrogantes:

- ¿Representa la Base de Conocimientos adecuadamente el - problema en cuestión, es decir, están correctamente formuladas las reglas de inferencia?.
- ¿Reconoce el sistema los casos límite del dominio del co nocimiento en estudio?.
- ¿Efectúa el sistema las preguntas en una forma razonable, similar a como lo hacían los expertos humanos?. (Una secuencia ilógica o incoherente es la mejor manera de disminuir la confianza del usuario en el sistema).



La BC aquí desarrollada ha sido extensivamente probada y, en consecuencia, modificada tomando en consideración las sugerencias de los expertos humanos. Aún cuando la presente versión de la BC es de tamaño pequeño (etapa de prototipo) es capaz de cubrir una amplia variedad de situaciones estructurales.

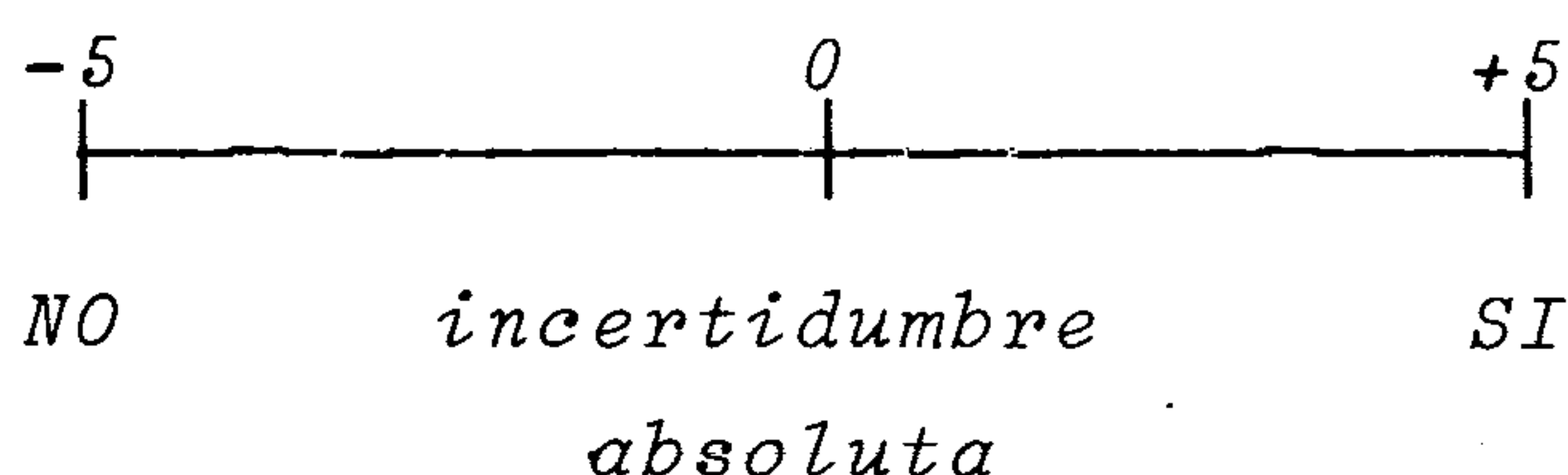
Dos ejemplos representativos de casos límites fueron considerados, proporcionando resultados satisfactorios, y serán discutidos posteriormente.

Por otro lado, la calibración de la secuencia de preguntas se realizó optimizando el VR y refinando simultáneamente las probabilidades involucradas, consiguiéndose así un comportamiento cuasi-similar al humano. Esto se traduce en un menor número de preguntas al usuario y en una convergencia más rápida hacia la predicción deseada.

A continuación se incluyen dos diálogos usuario-sistema, correspondientes a los casos límites considerados. Las preguntas del sistema van precedidas por la identificación "QL-CONST1:" mientras que las respuestas del usuario llevan la palabra "Usuario:". Entre paréntesis aparecen las explicaciones de los autores cuando sean necesarias.

El primer ejemplo supone la existencia de una estructura de concreto armado cuyo proceso constructivo se realizó de forma óptima. La inspección visual posterior reveló excelentes resultados, es decir, no se observaron grietas ni refuerzos sin recubrimiento, el acabado superficial era excelente, etc... El texto siguiente reproduce exactamente el diálogo entre el sistema y el usuario:

*Por favor, responda a las preguntas con números enteros, de acuerdo a la escala indicada...*





-----  
*Comienzo del diálogo*  
-----

QL-CONST1 : Se realizó un control adecuado de la CALIDAD DEL  
CONCRETO, es decir, fueron efectuados suficientes  
ensayos sobre cilindros?.

Usuarios : 5

QL-CONST1 : Se observaron COLUMNAS no totalmente verticales?.

Usuario : -5

QL-CONST1 : Se observaron GRIETAS DE FLEXION?.

Usuario : -5

QL-CONST1 : Fueron observados refuerzos sin el recubrimiento  
adecuado?.

Usuario : -5

QL-CONST1 : Se observaron GRIETAS DE CORTE?.

Usuario : -5

⋮

(a medida que el diálogo progresa, el sistema incorpora más in-  
formación "a posteriori" y finalmente, después de algunas pre-  
guntas más, anuncia el fin del diálogo y su conclusión más pro-  
bable).

⋮

QL-CONST1 : Se disponía de PERSONAL CALIFICADO para encofrar y  
desencofrar la estructura?.

Usuario : 5

QL-CONST1 : Se disponía de PERSONAL ADECUADO para manipular y colocar la armadura?.

Usuario : 5

QL-CONST1 : Fueron realizados estudios previos sobre el comportamiento del SUELO?.

Usuario : 5

-----  
FIN DEL DIALOGO  
-----

-----  
Mi predicción es: la estructura exhibe un BUEN nivel de calidad con una probabilidad del 99%.  
-----

El segundo ejemplo aquí considerado corresponde a una estructura cuyo proceso constructivo se realizó sin ningún control, con personal inadecuado, etc. Como consecuencia, la inspección visual proporcionó resultados preocupantes, mostrando abundancia de zonas agrietadas, componentes estructurales no homogéneos, etc. Evidentemente, esta es una situación límite no frecuente en la práctica profesional. Es utilizada aquí con propósitos ilustrativos exclusivamente.

-----  
Comienzo del diálogo  
-----

QL-CONST1 : Se realizó un control adecuado de la CALIDAD DEL CONCRETO, es decir, fueron efectuados suficientes ensayos sobre cilindros?.

Usuario : -5

QL-CONST1 : Se observaron GRIETAS DE FLEXION?.

Usuario : 5

QL-CONST1 : Se observaron refuerzos fuera de su posición adecuada?.

Usuario : 5

⋮

(Después de algunas preguntas más, el sistema anuncia su conclusión).

⋮

QL-CONST1 : Se observaron GRIETAS DE CORTE?.

Usuario : 5

QL-CONST1 : Se disponía de PLANOS DE PROYECTO suficientemente claros y detallados?.

Usuario : -5

QL-CONST1 : Se disponía de PERSONAL CALIFICADO para encofrar y desencofrar la estructura?.

Usuario : -5

-----  
Fin del diálogo  
-----

-----  
Mi predicción es: La estructura exhibe un nivel de calidad POBRE con una probabilidad del 100%.  
-----

Los ejemplos precedentes demuestran que el sistema reconoce los límites del dominio en el cual se inscribe. Sin embargo, para consolidar la confianza en el sistema, es necesario demostrar que éste no "oscila" alrededor de situaciones intermedias.



Con este objetivo en mente, las evidencias fueron clasificadas en dos grandes grupos:

- \* Evidencias relacionadas con el proceso constructivo: planos de proyecto, personal, control de materiales, etc. Este grupo se identificará con las siglas CPC.
- \* Evidencias relacionadas con la inspección visual, el cual será identificado como RIV.

Así, por ejemplo, la figura 5.1 recoge las respuestas del sistema para  $CPC = -5$ , es decir, todas las preguntas incluidas en el grupo CPC fueron respondidas con  $-5(No)$  en el caso de que apuntaran hacia estructuras de BUENA calidad y con  $+5(SI)$  para preguntas formuladas en la dirección opuesta.

La escala vertical de las figuras recoge las probabilidades (en porcentaje) de las hipótesis consideradas, mientras que la escala horizontal refleja los valores dados a las preguntas incluidas en el grupo de inspección visual (RIV). A continuación se discuten algunos aspectos relevantes de las figuras descriptivas 5.1 a 5.4.

La figura 5.1 representa el Nivel de Calidad (NC de ahora en adelante) para un subconjunto de especímenes mal construídos, es decir, se tiene una "certeza absoluta" ( $CPC = -5$ ) de lo inadecuado del proceso constructivo. Como era de esperarse, el NC de tales estructuras no puede, teóricamente, ser BUENO, lo cual es reconocido por el sistema. Obsérvese que aún en la presencia de valores RIV "más o menos" satisfactorios (digamos, hasta  $RIV=2$ ) el sistema predice NC POBRE, lo cual se interpreta como un criterio conservador. Para valores  $RIV > 2$ , el sistema reconoce una contradicción del mundo real, identificada como "Región Conflictiva" en la figura: resulta normalmente improbable que especímenes mal construídos puedan exhibir resultados satisfactorios al practicarse una inspección visual.

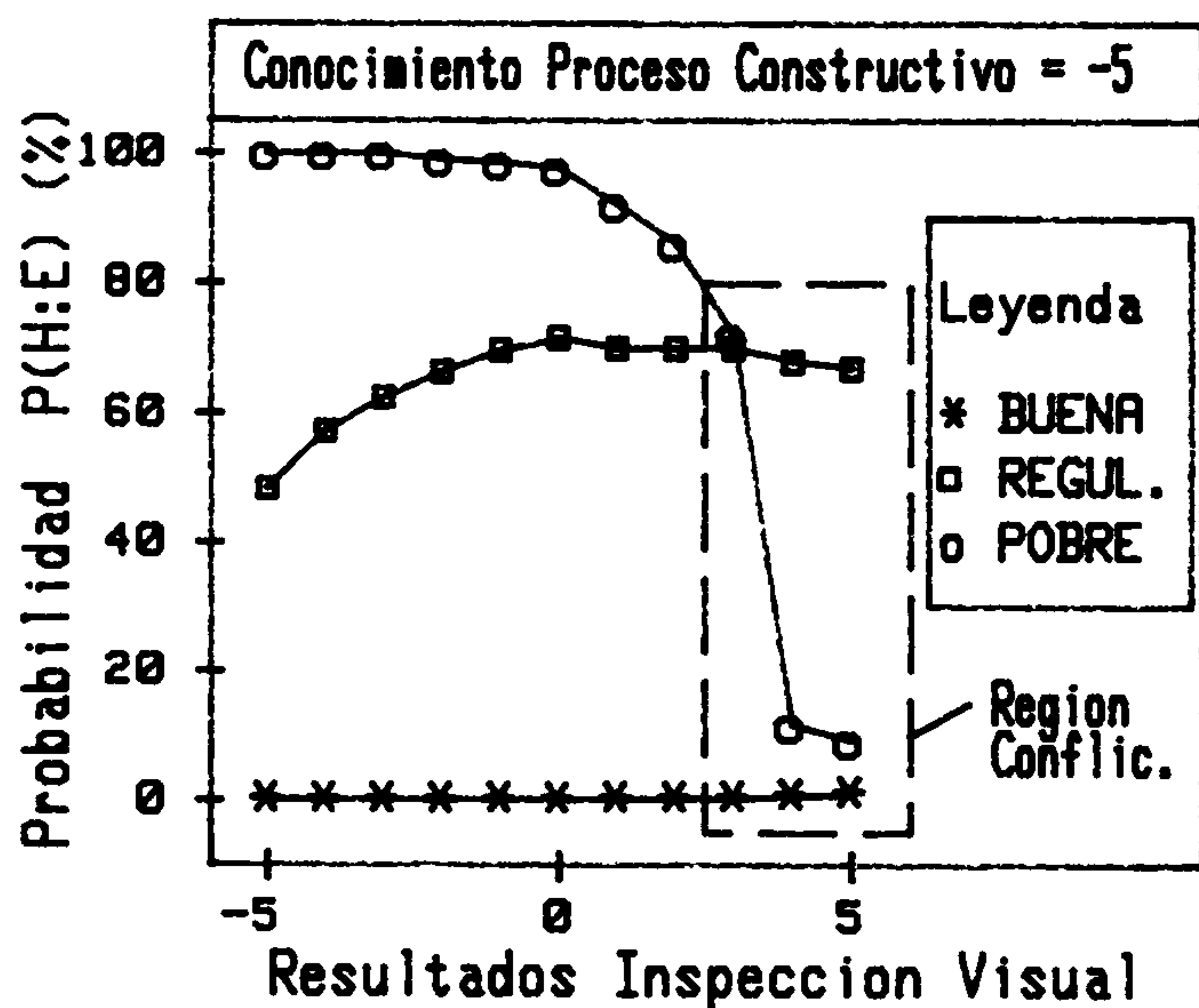


figura 5.1

Respuesta del SE para  
CPC = -5

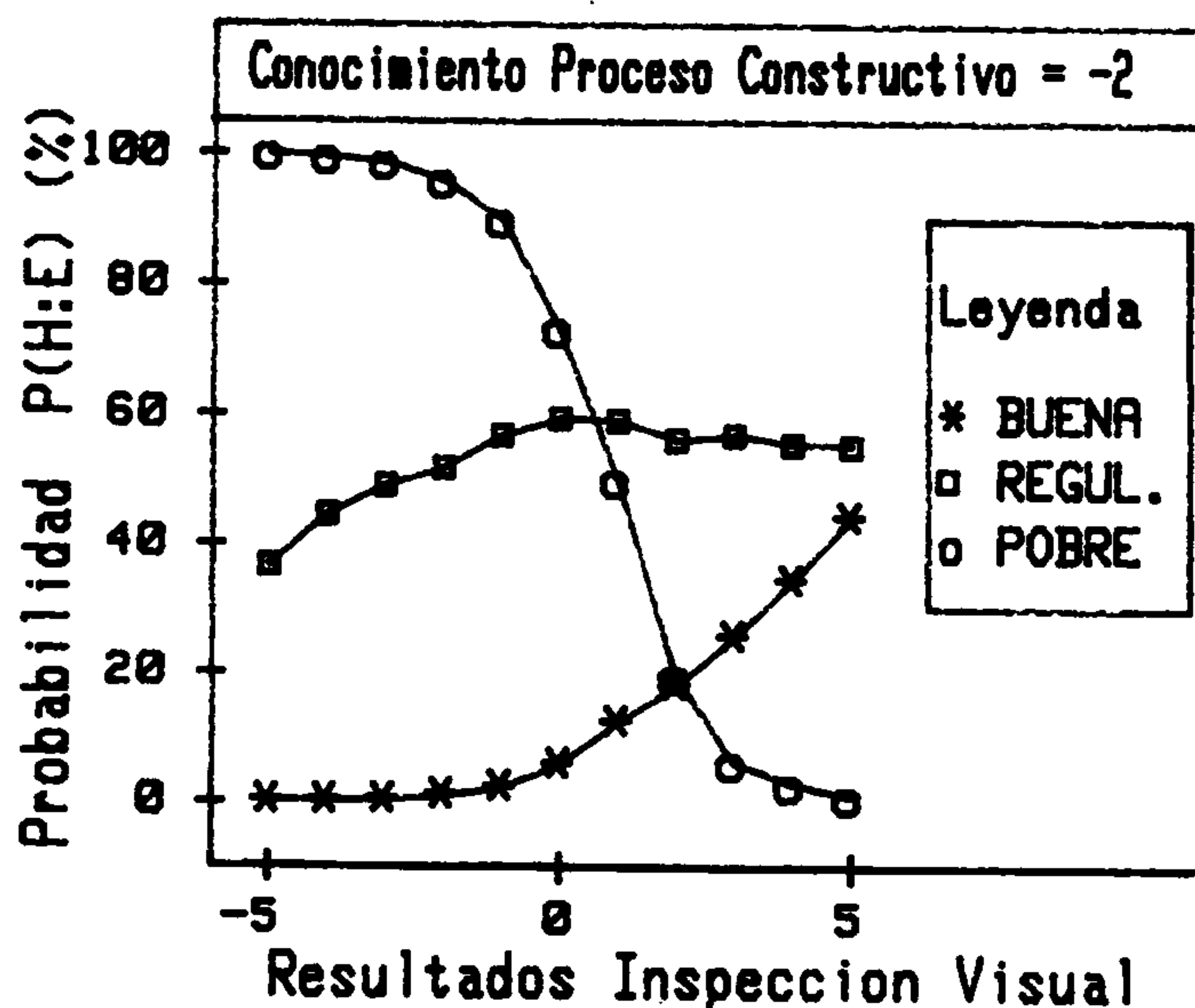


figura 5.2

Respuesta del SE para  
CPC = -2

La figura 5.2 (CPC = -2) recoge los NC asignados a estructuras sobre las cuales se tiene una "desconfianza moderada" en un proceso constructivo adecuado.

Obsérvese otra vez el criterio conservador exhibido por el sistema: predice niveles REGULARES aún en la presencia de valores RIV buenos o excelentes, aunque sí se aprecia un incremento en el NC BUENO.

La figura 5.3 (CPC = 2) muestra los resultados obtenidos sobre estructuras acerca de las cuales se tiene una "confianza moderada" en procesos constructivos adecuados. Como era de esperarse, el parámetro RIV es de nuevo decisivo en la predicción del sistema.

Finalmente, la figura 5.4 (CPC = 5) recoge las estructuras sobre las que se tiene una "absoluta certeza" de que el proceso constructivo fue óptimo.

De nuevo aquí, el sistema reconoce una contradicción del



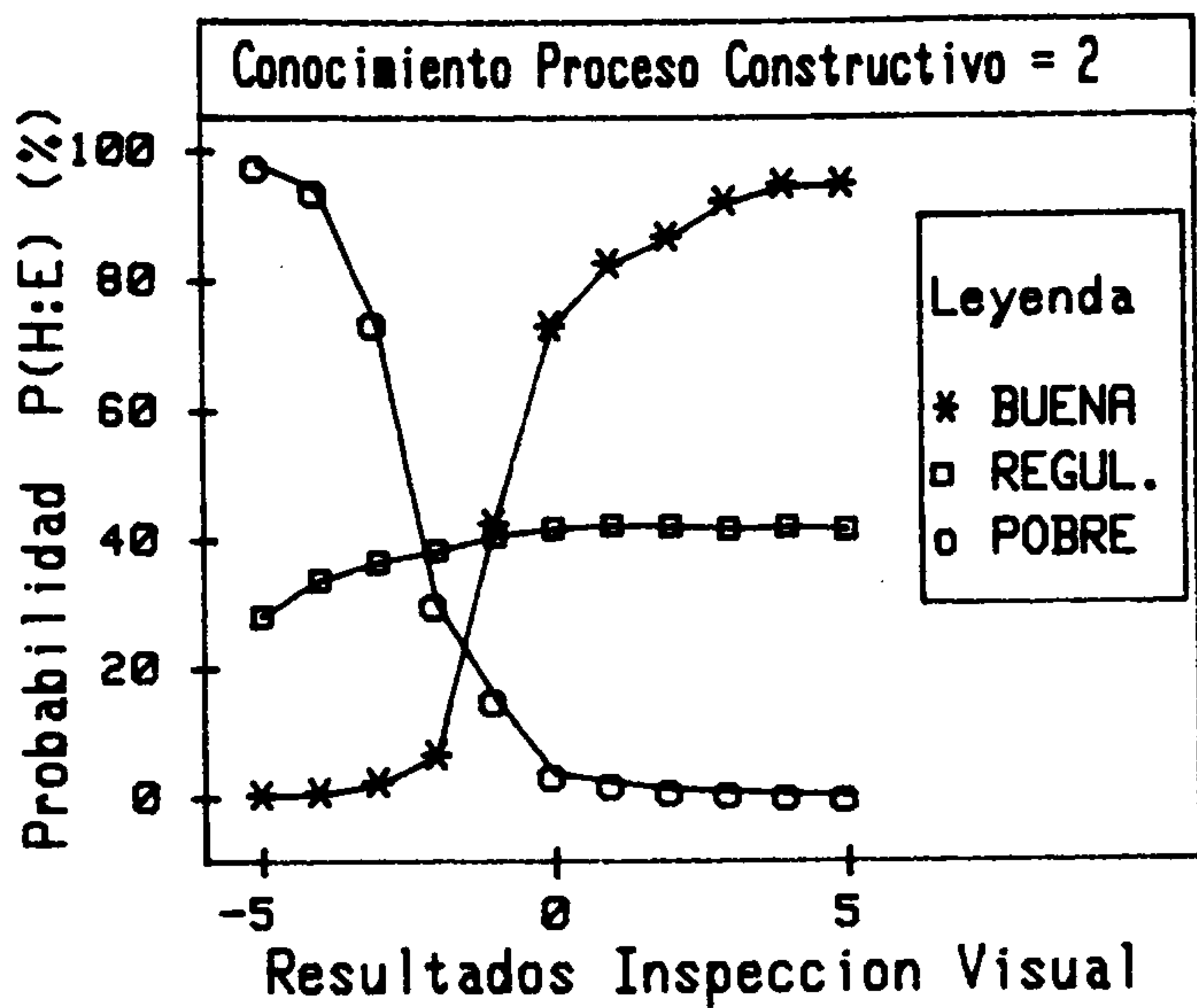


figura 5.3

Respuestas del SE para  
CPC = 2

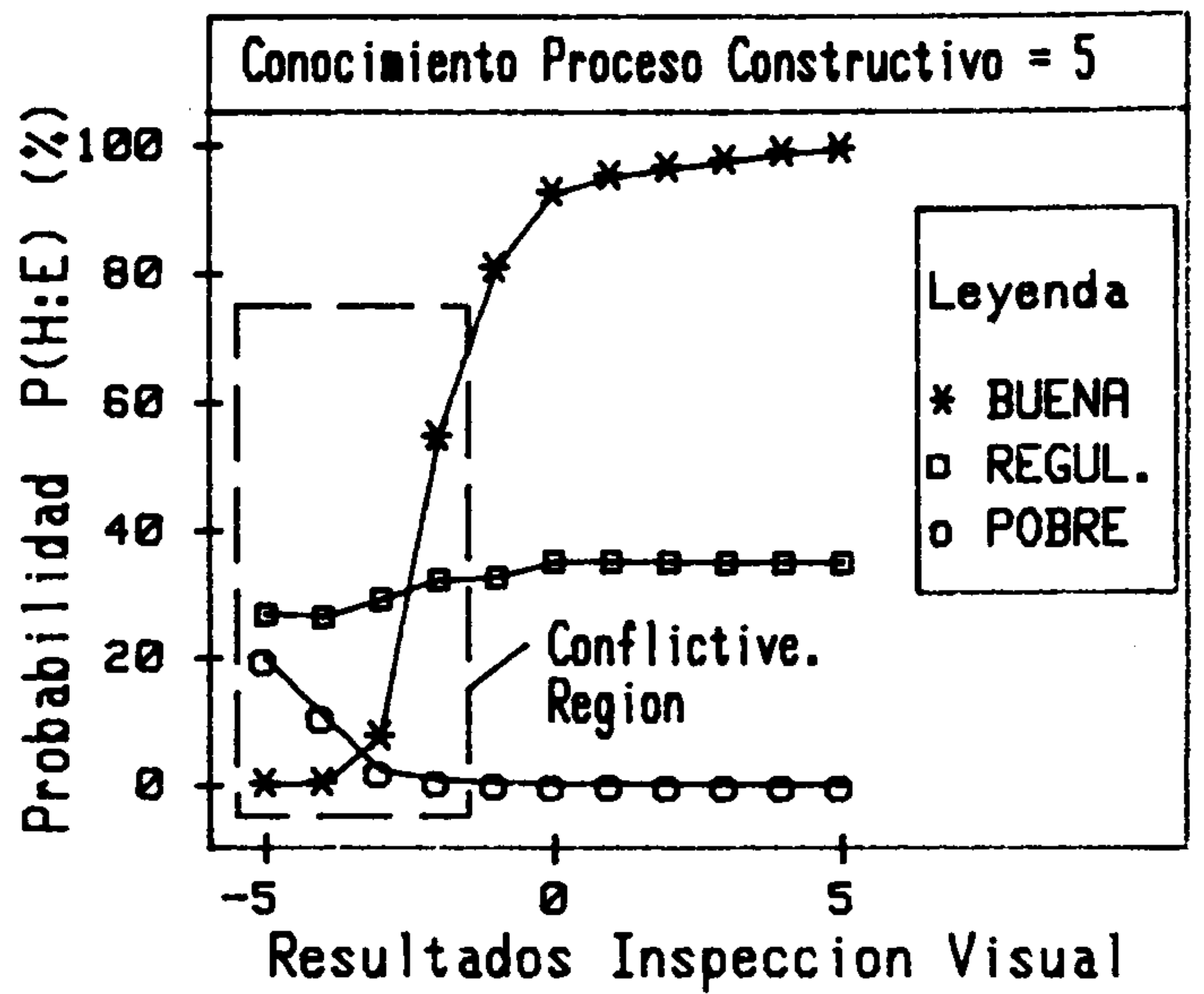


figura 5.4

Respuestas del SE para  
CPC = 5

mundo real, identificada como "Región Conflictiva": es altamente improbable que estructuras bien construídas puedan exhibir aspectos preocupantes o inclusive calamitosos.

Como pudo observarse de la discusión de las figuras precedentes, el sistema sigue un comportamiento "no oscilante" y converge asintóticamente hacia los límites esperados.

Desde otro punto de vista, cuándo se compararon los "juicios" del sistema con los juicios de expertos humanos, se obtuvieron resultados alentadores. En la mayoría de los casos, los expertos humanos coincidieron con las respuestas del sistema - dentro de un rango razonable.

## 6. CONCLUSIONES

Un prototipo de sistema experto, acoplado con la BC aquí propuesta, ha sido desarrollado para la predicción del nivel de calidad en estructuras de edificación.



La BC desarrollada ha sido extensivamente probada a través de un gran número de ejemplos. Ha mostrado un comportamiento satisfactorio, aún en la presencia de situaciones límite. Actualmente, está siendo incrementada y refinada con nuevas hipótesis y más reglas probabilísticas de producción, con la finalidad de ampliar el dominio del conocimiento en el cual se inscribe.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CDCH, Venezuela) y a la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica (CAICYT, España) por el apoyo suministrado.

## 8. REFERENCIAS

- ANG, A. AND TANG, W. (1975)  
Probability Concepts in Engineering Planning and Design.  
John Wiley & Sons, USA.
- BANARES-ALCANTARA, R., WESTERBERG, A.W. AND RYCHERNER, M.D. (1983)  
Development of an Expert System for physical property predictions.  
Report, Carnegie-Mellon University, Pittsburg.
- BARR, A. AND FEIGENBAUM, E.A. (1982)  
The Handbook of Artificial Intelligence.  
Vols. 1 and 2, Pitman Books, London.
- BENNETT, J., CREARY, J., ENGELMORE, R. AND MELOSH, R.A. (1978)  
Knowledge Based Consultant for structural Engineering.  
Comp. Science Dept., Stanford University, Stanford.
- BROWN, C.B. AND YAO, T.P. (1983)  
Fuzzy Sets in structural Engineering.  
Journal ASCE, ST.

- BUCHANAN, B. AND SHORTLIFFE, E. (1984)  
Use of MYCIN inference Engine.  
In Buchanan and Shortliffe (Eds.): Rule Based Expert Systems,  
Addison Wesley, pp. 295-301.
- CERROLAZA, M.; GOMEZ, B. Y ALARCON, E. (1988)  
Expert Systems for Quality Prediction in Structural Engineering.  
IABSE Congress, Helsinki, Finlandia.
- CHARNIAK, E. AND Mc.DERMOTT, D. (1985)  
Introduction to Artificial Intelligence.  
Addison Wesley, USA.
- DUDA, R.O., HART, P. AND NILSSON, N. (1976)  
Subjective Bayesian Methods for rulebased inference systems.  
in Proc. Nat. Comp. Conference, New York, 7-10, June.
- FORSYTH, R. (1984).  
Expert Systems.  
Chapman and Hall, London.
- GASCHNIG, J. (1982)  
PROSPECTOR: an expert system for mineral explorations.  
in D.MICHIE (Ed.): Introductory Readings in Expert Systems,  
Gordon and Breach, Science Publishers.
- HAYES-ROTH, F.; WATERMAN, D. AND LENAT, D. (1983)  
Building Expert Systems.  
Addison Wesley, New York.
- MARTIN, W.A. AND FATEMAN, R.J. (1971)  
The MACSYMA SYSTEM.  
Proceedings Second Int. Symposium Symbolic and Algebraic Manipulations, pp. 59-75, March.
- MICHIE, D. (1982)  
Introductory Readings in Expert Systems.  
Gordon and Breach, New York.
- NAYLOR, C. (1983)  
Build your own expert system.  
Sigma Technical Press.

- NAYLOR, C. (1984)  
How to build an inference engine.  
in Forsyth R. (Ed.): Expert Systems, Chapman and Hall, London.
- NELSON, W.R. (1982)  
An Expert System for diagnosis and treatment of nuclear reactors accidents.  
Proceedings, AAAI-82, pp. 296-301.
- NILSSON, N. (1980)  
Principles of Artificial Intelligence.  
Tioga Publishing Co.
- OGAWA, H.; FU, K.S. AND YAO, J.T. (1984)  
An Expert System for damage assessment of existing structures.  
Proceedings of the First Conference in Artificial Intelligence Applications, IEEE, December, 1984.
- RICH, E. (1983)  
Artificial Intelligence.  
Mc. Graw Hill, USA.
- YAO, J.T. (1985)  
Safety and Reliability of existing structures.  
Pitman Publishing, U.K.
- ZADEG, L.A. (1965)  
Fuzzy Sets.  
Information and Control, Vol. 8, 1965, pp. 338-353.
- ZADEH, L.A. (1973)  
Outline of a New Approach to the analysis of complex systems and Decision Processes.  
IEEE Transactions on Systems, Man & Cybernetics, SMC-3, No. 1, January, pp. 28-44.